

InP 系光電子融合ダブルミキサトランジスタとその 光 ミリ波帯キャリア周波数下方変換への応用に 関する研究

著者	大森 雄也
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	88
号	1
ページ	104-105
発行年	2019-07
URL	http://hdl.handle.net/10097/00126550

修士学位論文要約（平成31年3月）

InP 系光電子融合ダブルミキサトランジスタとその光-ミリ波帯キャリア周波数下方変換への応用に関する研究

大森 雄也

指導教員：尾辻 泰一， 研究指導教員：佐藤 昭

Study on InP-Based Optoelectronic Double-Mixer Transistor and Their Application to Optical-to-Millimeter-Wave Carrier Frequency Down-Conversion

Yuya OMORI

Supervisor: Taiichi OTSUJI, Research Advisor: Akira SATOU

To realize future high-capacity communication networks, the seamless convergence between optical networks and wireless networks is required. For this purpose, a carrier-frequency down-converter from optical data signals to millimeter-wave/THz data signals is needed. In this paper, the author examined the carrier-frequency down-conversion using an InP-based high-electron-mobility transistor (InP-HEMT). To improve very low conversion efficiency of double mixing using a standard InP-HEMT, the author examined the integration of a uni-traveling-carrier photodiode (UTC-PD) structure in an InP-HEMT and achieved 34-dB enhancement. The author also discussed about the feasibility of the device for the practical system implementations.

1. はじめに

近年、情報処理分野において扱われるデータ量は飛躍的に増大している。今後さらなる発展が期待されるブロードバンドワイヤレスサービスを支えていくために、大容量で災害に強く、リジリエンスなネットワークの構築が必要である。この要件を満たした次世代のアクセスネットワークとして、光通信と無線通信をシームレスに融合させたフルコヒーレントネットワークの構築が求められている[1]。その実現には、光—無線間でシームレスにキャリア周波数を変換するキャリアコンバータが必要となる。そこで我々は、InP 系高電子移動度トランジスタ（InP High-Electron-Mobility Transistor: InP-HEMT）を用いた光—ミリ波帯周波数下方変換の研究を行っている[2-4]。赤外二光波をトランジスタチャネルに直接吸収させ、フォトミキシングによってその差周波のミリ波 RF 信号を生成する。さらに、ゲートに入力した RF-LO 信号と、フォトミキシング信号とを RF ミキシングすることにより、それらの差周波を持つ IF 信号がドレイン端から出力される（光ダブルミキシング）。本研究では、キャリアコンバータとして InP-HEMT を用いたダブルミキシングによる光データ信号からミリ波データ信号への周波数下方変換機能を実証した。目標として赤外二光波入力+5 dBm 時のダブルミキシング出力を-30 dBm とし、変換効率向上のため単一走行キャリア・フォトダイオード（Uni-Traveling-Carrier Photodiode; UTC-PD）を HEMT に集積させ

たデバイス構造を考案・試作した。試作デバイスを用いてダブルミキシング実験を行い、従来の InP-HEMT との比較検討を行った。また、変換効率向上に向けた改善点の検討を行い、目標出力達成の見通しを得た。

2. InP-HEMT による光-ミリ波帯周波数下方変換

光ダブルミキシングによる、光データ信号から IF データ信号への直接周波数下方変換の実証実験では、光データ信号とサブキャリア信号の差周波数を 112.5 GHz、強度を+5 dBm、RF-LO は 90 GHz、強度を+7.7 dBm とした。印加する電圧は出力が最大となる値に設定し、ゲート電圧は $V_{GS} = -0.55$ V、ドレイン電圧は $V_{DS} = 0.8$ V とした。光データ信号周波数を 6 GHz 方形波とした時の ASK(Amplitude-Shift Keying)変調 IF 信号スペクトルを図 1(a)に、BPSK(Binary Phase-Shift Keying)変調 IF 信号スペクトルを図 1(b)にそれぞれ示す。光差周波数 112.5 GHz と RF-LO 90 GHz の差である 22.5 GHz を中心周波数とし、 ± 6 GHz の一次高調波成分が上下側帯域に確認できた。この結果は InP-HEMT が光ダブルミキサとして動作し、少なくとも ± 6 GHz の範囲の帯域を持つことを示している。また、QPSK や QAM といったより多値の変調方式に対しても、周波数下方変換が出来ることを示唆している。

3. UTC-PD 集積による変換効率の向上

InP-HEMT を用いたダブルミキシングによる光-ミリ波変換効率は、チャンネル層で光を吸収して

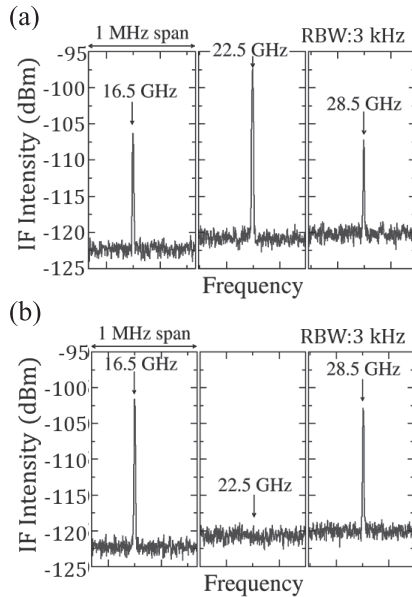


図 1 InP-HEMT を用いた 6 GHz 方形波による (a)ASK 変調 IF スペクトル、(b)BPSK 変調 IF スペクトル。

いる点と、光によって生成したホールの移動度の低さにより非常に低い値に留まった。そこで、吸収率の増加と低移動度の光生成ホールの除去による変換効率向上を目的として、HEMT の上部に UTC-PD 構造を集積したデバイス構造を考案し、試作した。図 2(a)に同一エピ基板から作製した InP-HEMT と (b)UTC-PD 構造集積 HEMT のダブルミキシング IF スペクトルを示す。印加電圧は出力が最大となる値に設定し、光差周波数を 112.5 GHz、強度を +5 dBm、RF-LO の周波数を 90 GHz、強度は +7.7 dBm とした。図 2(a)と (b)から、UTC-PD を集積することにより +34 dB の変換効率向上を確認した。しかし UTC-PD 構造集積 HEMT のダブルミキシング IF 出力強度は -82 dBm であり、目標の -30 dBm と 50 dB 程の乖離がある。この乖離を埋めるために、変換効率向上に向けた改善点の検討を行った。

4. 変換効率向上に向けた改善点の検討

変換効率向上に向けた改善点として、UTC-PD 面積縮小化と光吸収層勾配ドーピング [5]による光生成電子拡散時間の短縮、チャネル内の電位差発生のためソース側のキャップ層にカソード設置、UTC-PD、HEMT 層の改良の 4 つの改善点の検討を行った。本研究で行った入力光強度 +5 dBm では、検討した 4 つの改善を行うことで、目標の出力にほぼ達することが出来ると考えられる。一方で環境依存の低い光入力強度によっては目標値に達しないことも考えられ、入力光を

より高効率に吸収するための光導波路との集積

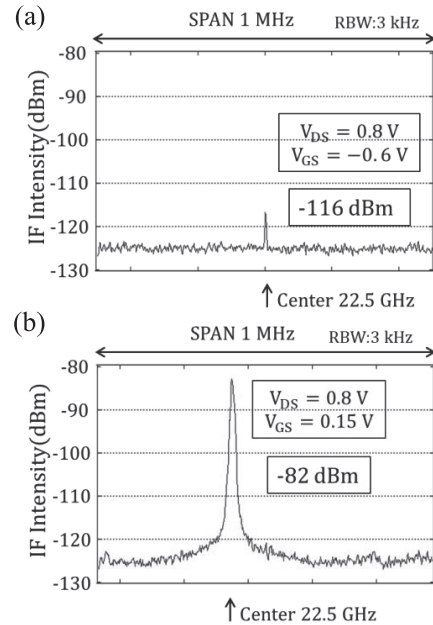


図 2 (a)InP-HEMT、(b)UTC-PD 構造集積 HEMT のダブルミキシング IF スペクトル。

や、光入力強度そのものを半導体光増幅器集積によって増幅するなど、さらなる変換効率向上に向けた検討を行う必要がある。

5. まとめ

InP-HEMT を用いたダブルミキシングによって、ASK および BPSK 変調光データ信号とともにミリ波帯 IF データ信号に直接周波数下方変換出来ることを示した。InP-HEMT の低い光-ミリ波変換効率を改善するため、UTC-PD 構造を HEMT の上部に集積し、ダブルミキシングで +34 dB の出力向上を確認した。さらに、変換効率向上に向けた改善点の検討を行い、目標達成の見通しを得た。

文献

- [1] I. Katsumi and T. Kastutoshi, GSMM 2013 6th Glob. Symp. Millim. Wave 2013, Dig., M4.1, Sendai, 2013.
- [2] T. Kawasaki *et al.*, Solid. State. Electron., **103**, pp. 216–221 (2015).
- [3] K. Sugawara *et al.*, J. Lightwave Technol. **34**, pp. 2011–2019 (2016).
- [4] A. Satou and T. Otsuji, Proc. SPIE **10403**, pp. 104030S-1-104030S-12 (2017).
- [5] N. Shimizu, N. Watanabe, T. Furuta, and T. Ishibashi, Jpn. J. Appl. Phys., **37**, pp. 1424–1426 (1998).